

(11)Publication number : 2001-311848

(43)Date of publication of application : 09.11.2001

(51)Int.Cl.

G02B 6/22
H04B 10/02
H04B 10/18
H04J 14/00
H04J 14/02

(21)Application number : 2000-132652

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 01.05.2000

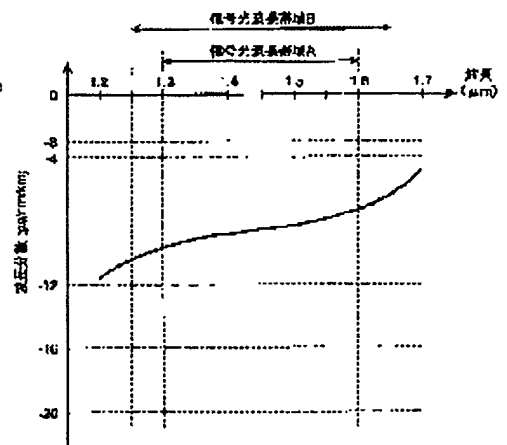
(72)Inventor : KATO TAKATOSHI
TANAKA SHIGERU

(54) OPTICAL FIBER AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical fiber or the like permitting a large capacity and long distance transmission using multiple wavelength signal light of a signal light wavelength band covering a $1.31\ \mu\text{m}$ – $1.58\ \mu\text{m}$ wavelength band.

SOLUTION: The optical fiber relating to this invention has a spectrum spread of ≥ 20 ps/nm/km and ≤ 3 ps/nm/km (more preferably, ≥ 12 ps/nm/km and ≤ 4 ps/nm/km) in the full range of a $1.30\ \mu\text{m}$ – $1.60\ \mu\text{m}$ wavelength band. Moreover, it is more preferable to be ≥ 20 ps/nm/km and ≤ 3 ps/nm/km in the full range of a $1.25\ \mu\text{m}$ – $1.65\ \mu\text{m}$ wavelength band broader than the above wavelength band. Since the spectrum spread is of a value within the above numeric values in the broader signal light wavelength band covering a $1.30\ \mu\text{m}$ – $1.60\ \mu\text{m}$ wavelength band, both of waveform deterioration of the signal light due to a non-linear optical phenomenon and that due to accumulated spectrum spread are controlled.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-311848

(P2001-311848A)

(43) 公開日 平成13年11月9日 (2001.11.9)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト [*] (参考)
G 0 2 B 6/22		G 0 2 B 6/22	2 H 0 5 0
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	M 5 K 0 0 2
	10/18		E
H 0 4 J 14/00			
	14/02		

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-132652(P2000-132652)

(22) 出願日 平成12年5月1日 (2000.5.1)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 加藤 考利

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 田中 茂

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(74) 代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

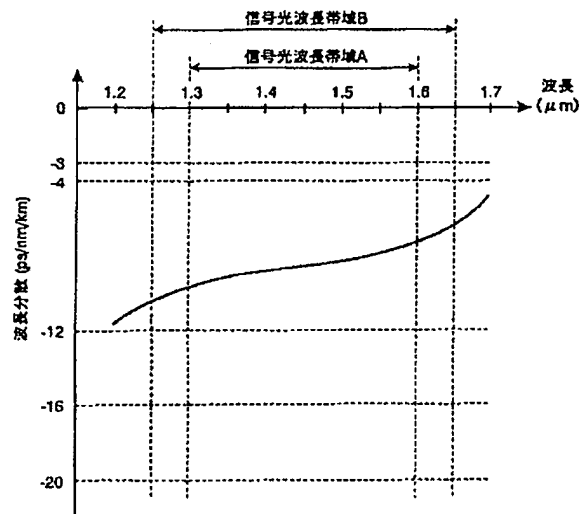
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバおよび光伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 波長1.31 μ m帯～波長1.58 μ m帯を含む広い信号光波長帯域の多波長の信号光を用いて大容量の長距離伝送が可能な光ファイバ等を提供する。

【解決手段】 本発明に係る光ファイバは、波長帯域1.30 μ m～1.60 μ mの全範囲において、波長分散が -20ps/nm/km 以上 -3ps/nm/km 以下（より好適には、 -12ps/nm/km 以上 -4ps/nm/km 以下）である。また、より好適には、上記の波長帯域より広い波長帯域1.25 μ m～1.65 μ mの全範囲において、波長分散が -20ps/nm/km 以上 -3ps/nm/km 以下（より好適には、 -16ps/nm/km 以上 -4ps/nm/km 以下）である。波長1.31 μ m帯～波長1.58 μ m帯を含む広い信号光波長帯域において、波長分散が上記数値範囲内の値であるので、非線型光学現象に因る信号光の波形劣化および累積波長分散に因る信号光の波形劣化の双方が抑制される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長帯域1.30 μm ～1.60 μm の全範囲において波長分散が -20ps/nm/km 以上 -3ps/nm/km 以下であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項2】 波長帯域1.30 μm ～1.60 μm の全範囲において波長分散が -12ps/nm/km 以上 -4ps/nm/km 以下であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項3】 波長帯域1.25 μm ～1.65 μm の全範囲において波長分散が -20ps/nm/km 以上 -3ps/nm/km 以下であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項4】 波長帯域1.25 μm ～1.65 μm の全範囲において波長分散が -16ps/nm/km 以上 -4ps/nm/km 以下であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項5】 波長1.55 μm における実効断面積が40 μm^2 以上であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項6】 波長1.38 μm におけるOH基に因るロス増が0.1dB/km以下であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項7】 光軸中心を含み第1の屈折率を有する中心コア領域と、

この中心コア領域を取り囲み前記第1の屈折率より小さい第2の屈折率を有する第2コア領域と、

この第2コア領域を取り囲み前記第2の屈折率より大きい第3の屈折率を有する第3コア領域と、

この第3コア領域を取り囲み前記第3の屈折率より小さい第4の屈折率を有するクラッド領域とを備えることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項8】 前記クラッド領域が、前記第3の屈折率より小さい屈折率を有する内層クラッド領域と、この内層クラッドの屈折率より大きい屈折率を有する外層クラッド領域とを含むことを特徴とする請求項7記載の光ファイバ。

【請求項9】 前記クラッド領域の最外層の屈折率を基準として前記中心コア領域の屈折率差が0.4%以上0.7%以下であることを特徴とする請求項7記載の光ファイバ。

【請求項10】 波長帯域1.30 μm ～1.60 μm 内の各波長の信号光を合波して送出する複数の送信局と、

この送信局から送出された多波長の信号光を伝送する請求項1記載の光ファイバと、

この光ファイバを伝送してきて到達した多波長の信号光を分波して各波長の信号光を受信する受信局とを備えることを特徴とする光伝送システム。

【請求項11】 波長帯域1.25 μm ～1.65 μm 内の各波長の信号光を合波して送出する複数の送信局と、

この送信局から送出された多波長の信号光を伝送する請求項3記載の光ファイバと、

この光ファイバを伝送してきて到達した多波長の信号光を分波して各波長の信号光を受信する受信局とを備えることを特徴とする光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、多波長の信号光を多重化して光伝送を行う波長多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)伝送システム、および、この光伝送システムにおいて光伝送路として用いられる光ファイバに関するものである。

【0002】

【従来の技術】光ファイバ網を用いたWDM伝送システムは、大容量の情報を伝送することが可能であり、多波長の信号光を送信する送信器、これらの信号光を伝送する光ファイバ、これらの信号光を受信する受信器、および、信号光を増幅する増幅器、等を含んで構成される。このようなWDM伝送システムにおいて、伝送容量を拡大するために、信号光の波長帯域の幅を広げる試みがなされている。

【0003】また、非線型光学現象(特に四光波混合)に因る信号光の波形劣化を抑制するためには、信号光波長帯域において光ファイバの波長分散の絶対値が小さすぎないことが重要である。一方、累積波長分散に因る信号光の波形劣化を抑制するためには、信号光波長帯域において光ファイバの波長分散の絶対値が大きすぎないことも重要である。

【0004】ところで、光ファイバ増幅器が利得を有する波長帯域が1.53 μm ～1.61 μm 程度であるのに対して、従来の分散シフト光ファイバの零分散波長は1.56 μm ～1.60 μm の範囲にある。したがって、このような光ファイバ増幅器と分散シフト光ファイバを含む光伝送システムでは、光ファイバ増幅器が利得を有する波長帯域のうちであっても、分散シフト光ファイバの零分散波長の付近の波長で非線型光学現象が発生し易いので、この波長の信号光を用いて長距離伝送を行うことができない。

【0005】このような問題点を解消することを意図した光ファイバが国際公開WO99/30194号公報に開示されている。この光ファイバは、零分散波長が1.61 μm 以上1.67 μm 以下であり、波長1.55 μm における波長分散スロープが $0.15\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 以下である。そして、この光ファイバは、光ファイバ増幅器が利得を有する波長帯域1.53 μm ～1.61 μm において、波長分散の絶対値が適切な値となつて、非線型光学現象に因る信号光の波形劣化および累積

波長分散に因る信号光の波形劣化の双方を抑制することができるというものである。また、この公報に実施例として示された光ファイバの波長分散スロープは $0.07 \text{ ps/nm}^2/\text{km} \sim 0.15 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】WDM伝送システムにおいて更なる伝送容量の拡大を図るには、信号光の波長帯域の幅を更に拡大することが望まれる。しかしながら、上記公報に開示された光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯(Cバンド)および波長 $1.58 \mu\text{m}$ 帯(Lバンド)を含む波長帯域 $1.53 \mu\text{m} \sim 1.61 \mu\text{m}$ での使用を意図したものであって、 $1.31 \mu\text{m}$ 帯および $1.45 \mu\text{m}$ 帯(Sバンド)での使用については考慮されていない。すなわち、上記公報に示された光ファイバは、波長 $1.31 \mu\text{m}$ において、波長分散が -20 ps/nm/km より小さくなり、波長分散の絶対値が大きいことから、累積波長分散に因る信号光の波形劣化が生じ易いので、波長 $1.31 \mu\text{m}$ 帯の信号光を用いて長距離伝送を行うことができない。

【0007】本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、波長 $1.31 \mu\text{m}$ 帯、波長 $1.45 \mu\text{m}$ 帯、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯および波長 $1.58 \mu\text{m}$ 帯を含む広い信号光波長帯域の多波長の信号光を用いて大容量の長距離伝送が可能な光ファイバ、および、この光ファイバを含む光伝送システムを提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光ファイバは、波長帯域 $1.30 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$ の全範囲において波長分散が -20 ps/nm/km 以上 -3 ps/nm/km 以下であることを特徴とする。より好適には、上記の波長帯域 $1.30 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$ の全範囲において波長分散が -12 ps/nm/km 以上 -4 ps/nm/km 以下であることを特徴とする。また、より好適には、上記の波長帯域より広い波長帯域 $1.25 \mu\text{m} \sim 1.65 \mu\text{m}$ の全範囲において波長分散が -20 ps/nm/km 以上 -3 ps/nm/km 以下であることを特徴とする。更に好適には、より広い波長帯域 $1.25 \mu\text{m} \sim 1.65 \mu\text{m}$ の全範囲において波長分散が -16 ps/nm/km 以上 -4 ps/nm/km 以下であることを特徴とする。

【0009】この光ファイバによれば、波長 $1.31 \mu\text{m}$ 帯、波長 $1.45 \mu\text{m}$ 帯、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯および波長 $1.58 \mu\text{m}$ 帯を含む広い信号光波長帯域($1.30 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$ 、より好適には $1.25 \mu\text{m} \sim 1.65 \mu\text{m}$)において、波長分散が上記数値範囲内の値であるので、非線型光学現象に因る信号光の波形劣化および累積波長分散に因る信号光の波形劣化の双方が抑制される。したがって、この光ファイバを光伝送路とし

て用いれば、この広い信号光波長帯域の多波長の信号光を用いて大容量の長距離伝送が可能である。なお、本発明に係る光ファイバの波長分散の絶対値が 20 ps/nm/km 以下であるというのは、符号が異なるものの、ITUのG.654に規定されているシングルモード光ファイバの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散と同程度以下であり、信号光を伝送する上で問題はない。

【0010】また、本発明に係る光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積が $40 \mu\text{m}^2$ 以上であることを特徴とする。この場合には、実効断面積が十分に大きいことから、非線型光学現象に因る信号光の波形劣化が更に抑制され、長距離伝送を行う上で好適である。なお、本発明に係る光ファイバの実効断面積が $40 \mu\text{m}^2$ 以上であるというのは、従来の分散シフト光ファイバの実効断面積と同程度以上である。

【0011】また、本発明に係る光ファイバは、波長 $1.38 \mu\text{m}$ におけるOH基に因るロス増が 0.1 dB/km 以下であることを特徴とする。この場合には、波長 $1.38 \mu\text{m}$ 付近の波長をも信号光波長として用いることができるので、更に大容量の伝送が可能である。

【0012】また、本発明に係る光ファイバは、(1) 光軸中心を含み第1の屈折率を有する中心コア領域と、(2) この中心コア領域を取り囲み第1の屈折率より小さい第2の屈折率を有する第2コア領域と、(3) この第2コア領域を取り囲み第2の屈折率より大きい第3の屈折率を有する第3コア領域と、(4) この第3コア領域を取り囲み第3の屈折率より小さい第4の屈折率を有するクラッド領域とを備えることを特徴とする。より好適には、クラッド領域が、(4a) 第3の屈折率より小さい屈折率を有する内層クラッド領域と、(4b) この内層クラッドの屈折率より大きい屈折率を有する外層クラッド領域とを含むことを特徴とする。また、より好適には、クラッド領域の最外層の屈折率を基準として中心コア領域の屈折率差が 0.4% 以上 0.7% 以下であることを特徴とする。これら何れの場合にも、上記波長範囲で上記波長分散範囲となる光ファイバを実現することができる。

【0013】本発明に係る光伝送システムは、(1) 波長帯域 $1.30 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$ (より好適には、波長帯域 $1.25 \mu\text{m} \sim 1.65 \mu\text{m}$) 内の各波長の信号光を送出する複数の送信器と、(2) これら複数の送信器それぞれから送出された信号光を伝送する上記の本発明に係る光ファイバと、(3) この光ファイバを伝送してきて到達した信号光を受信する受信器とを備えることを特徴とする。この光伝送システムは、上記の本発明に係る光ファイバを光伝送路として用いているので、波長 $1.31 \mu\text{m}$ 帯、波長 $1.45 \mu\text{m}$ 帯、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯および波長 $1.58 \mu\text{m}$ 帯を含む広い信号光波長帯域($1.30 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$ 、より好適には $1.25 \mu\text{m} \sim 1.65 \mu\text{m}$)において、非線型光学現象に因る

信号光の波形劣化および累積波長分散に因る信号光の波形劣化の双方が抑制され、この広い信号光波長帯域の多波長の信号光を用いて大容量の長距離伝送が可能である。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0015】図1は、本実施形態に係る光ファイバの波長分散特性を説明する図である。本実施形態に係る光ファイバは、波長帯域1.30 μm ~1.60 μm （以下では「信号光波長帯域A」という。）の全範囲において、波長分散が -20ps/nm/km 以上 -3ps/nm/km 以下である。この信号光波長帯域Aは、波長1.31 μm 帯、波長1.45 μm 帯、波長1.55 μm 帯および波長1.58 μm 帯を含んでいる。また、この信号光波長帯域Aの全範囲において波長分散が -20ps/nm/km 以上 -3ps/nm/km 以下であるので、非線型光学現象に因る信号光の波形劣化および累積波長分散に因る信号光の波形劣化の双方が抑制される。したがって、この光ファイバを光伝送路として用いれば、この広い信号光波長帯域Aの多波長の信号光を用いて大容量の長距離伝送が可能である。

【0016】より好適には、本実施形態に係る光ファイバは、信号光波長帯域Aの全範囲において、波長分散が -12ps/nm/km 以上 -4ps/nm/km 以下である。この場合には、波長分散が -12ps/nm/km 以上であることにより、累積波長分散に因る信号光の波形劣化が更に抑制され、波長分散が -4ps/nm/km 以下であることにより、非線型光学現象に因る信号光の波形劣化が更に抑制される。したがって、信号光波長帯域Aの多波長の信号光を用いて更に大容量の長距離伝送が可能である。

【0017】また、より好適には、本実施形態に係る光ファイバは、上記の信号光波長帯域Aより広い波長帯域1.25 μm ~1.65 μm （以下では「信号光波長帯域B」という。）の全範囲において、波長分散が -20ps/nm/km 以上 -3ps/nm/km 以下である。この場合には、信号光波長帯域Aより広い信号光波長帯域Bの多波長の信号光を用いて更に大容量の長距離伝送が可能である。

【0018】更に好適には、本実施形態に係る光ファイバは、信号光波長帯域Bの全範囲において、波長分散が -16ps/nm/km 以上 -4ps/nm/km 以下である。この場合には、波長分散が -16ps/nm/km 以上であることにより、累積波長分散に因る信号光の波形劣化が更に抑制され、波長分散が -4ps/nm/km 以下であることにより、非線型光学現象に因る信号光の波形劣化が更に抑制される。したがって、信号光

波長帯域Bの多波長の信号光を用いて更に大容量の長距離伝送が可能である。

【0019】また、本実施形態に係る光ファイバは、波長1.55 μm における実効断面積が40 μm^2 以上であるのが好適である。この場合には、実効断面積が充分に大きいことから、非線型光学現象に因る信号光の波形劣化が更に抑制され、長距離伝送を行う上で好適である。

【0020】また、本実施形態に係る光ファイバは、波長1.38 μm におけるOH基に因るロス増が0.1dB/km以下であるのが好適である。この場合には、波長1.38 μm 付近の波長をも信号光波長として用いることができるので、更に大容量の伝送が可能である。

【0021】次に、本実施形態に係る光ファイバを実現するのに好適な屈折率プロファイルについて説明する。図2は、本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの好適例を説明する図である。この図に示された屈折率プロファイルは、光軸中心から順に、中心コア領域（屈折率 n_1 、外径2a）、第2コア領域（屈折率 n_2 、外径2b）、第3コア領域（屈折率 n_3 、外径2c）およびクラッド領域（屈折率 n_4 ）を有している。各屈折率の大小関係は $n_1 > n_2$ であり、 $n_2 < n_3$ であり、 $n_3 > n_4$ である。より好適には、クラッド領域の最外層の屈折率を基準として中心コア領域の比屈折率差 Δ_1 が0.4%以上0.7%以下である。このような屈折率プロファイルを有する光ファイバは、石英ガラスをベースとして、例えば、中心コア領域および第3コア領域それぞれにGeO₂を添加することにより、及び/又は、第2コア領域およびクラッド領域それぞれにF元素を添加することにより、実現することができる。

【0022】図3は、本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの好適例を説明する図である。この図に示された屈折率プロファイルは、光軸中心から順に、中心コア領域（屈折率 n_1 、外径2a）、第2コア領域（屈折率 n_2 、外径2b）、第3コア領域（屈折率 n_3 、外径2c）、内層クラッド領域（屈折率 n_4 、外径2d）および外層クラッド領域（屈折率 n_5 ）を有している。各屈折率の大小関係は $n_1 > n_2$ であり、 $n_2 < n_3$ であり、 $n_3 > n_4$ であり、 $n_4 < n_5$ である。より好適には、外層クラッド領域の最外層の屈折率を基準として中心コア領域の比屈折率差 Δ_1 が0.4%以上0.7%以下である。このような屈折率プロファイルを有する光ファイバは、石英ガラスをベースとして、例えば、中心コア領域および第3コア領域それぞれにGeO₂を添加することにより、及び/又は、第2コア領域および内層クラッド領域それぞれにF元素を添加することにより、実現することができる。

【0023】次に、本実施形態に係る光ファイバの具体的な4つの実施例について説明する。何れの実施例の光ファイバも図3に示した屈折率プロファイルを有する。

図4は、4つの実施例の光ファイバそれぞれの諸元および諸特性を纏めた図表である。図5は、4つの実施例の光ファイバそれぞれの波長分散特性を示すグラフである。

【0024】第1実施例の光ファイバの諸元は以下のとおりである。中心コア領域の外径 $2a$ は $5.7\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は $14.7\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は $22.6\mu\text{m}$ であり、内層クラッド領域の外径 $2d$ は $45.2\mu\text{m}$ である。また、中心コア領域の屈折率差 Δ_1 は 0.50% であり、第2コア領域の屈折率差 Δ_2 は -0.20% であり、第3コア領域の屈折率差 Δ_3 は 0.25% であり、内層クラッド領域の屈折率差 Δ_4 は -0.20% である。

【0025】そして、この第1実施例の光ファイバの諸特性は以下のとおりである。波長分散特性は、波長 $1.25\mu\text{m}$ で -11.98ps/nm/km であり、波長 $1.31\mu\text{m}$ で -9.22ps/nm/km であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ で -8.07ps/nm/km であり、波長 $1.65\mu\text{m}$ で -3.81ps/nm/km である。波長 $1.55\mu\text{m}$ において、波長分散スロープは $0.016\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であり、実効断面積は $52.1\mu\text{m}^2$ であり、モードフィールド径は $7.95\mu\text{m}$ であり、曲げ径 $32\text{mm}\Phi$ での曲げ損失は 2.4dB/ターン である。零分散波長は $1.694\mu\text{m}$ であり、ケーブルカットオフ波長は $1.29\mu\text{m}$ である。また、波長 $1.38\mu\text{m}$ におけるOH基に因るロス増 $\Delta\alpha_{1.38}$ は 0.01dB/km である。

【0026】第2実施例の光ファイバの諸元は以下のとおりである。中心コア領域の外径 $2a$ は $5.5\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は $14.5\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は $21.3\mu\text{m}$ であり、内層クラッド領域の外径 $2d$ は $42.6\mu\text{m}$ である。また、中心コア領域の屈折率差 Δ_1 は 0.55% であり、第2コア領域の屈折率差 Δ_2 は -0.20% であり、第3コア領域の屈折率差 Δ_3 は 0.30% であり、内層クラッド領域の屈折率差 Δ_4 は -0.20% である。

【0027】そして、この第2実施例の光ファイバの諸特性は以下のとおりである。波長分散特性は、波長 $1.25\mu\text{m}$ で -11.82ps/nm/km であり、波長 $1.31\mu\text{m}$ で -8.81ps/nm/km であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ で -6.28ps/nm/km であり、波長 $1.65\mu\text{m}$ で -3.32ps/nm/km である。波長 $1.55\mu\text{m}$ において、波長分散スロープは $0.011\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であり、実効断面積は $46.6\mu\text{m}^2$ であり、モードフィールド径は $7.44\mu\text{m}$ であり、曲げ径 $32\text{mm}\Phi$ での曲げ損失は 0.2dB/ターン である。零分散波長は $1.700\mu\text{m}$ であり、ケーブルカットオフ波長は $1.31\mu\text{m}$ である。また、波長 $1.38\mu\text{m}$ におけるOH基に因るロス増 $\Delta\alpha_{1.38}$ は 0.06dB/km である。

【0028】第3実施例の光ファイバの諸元は以下のとおりである。中心コア領域の外径 $2a$ は $5.2\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は $15.1\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は $21.6\mu\text{m}$ であり、内層クラッド領域の外径 $2d$ は $43.2\mu\text{m}$ である。また、中心コア領域の屈折率差 Δ_1 は 0.57% であり、第2コア領域の屈折率差 Δ_2 は -0.20% であり、第3コア領域の屈折率差 Δ_3 は 0.29% であり、内層クラッド領域の屈折率差 Δ_4 は -0.20% である。

【0029】そして、この第3実施例の光ファイバの諸特性は以下のとおりである。波長分散特性は、波長 $1.25\mu\text{m}$ で -12.60ps/nm/km であり、波長 $1.31\mu\text{m}$ で -9.42ps/nm/km であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ で -7.99ps/nm/km であり、波長 $1.65\mu\text{m}$ で -7.10ps/nm/km である。波長 $1.55\mu\text{m}$ において、波長分散スロープは $-0.008\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であり、実効断面積は $42.1\mu\text{m}^2$ であり、モードフィールド径は $7.15\mu\text{m}$ であり、曲げ径 $32\text{mm}\Phi$ での曲げ損失は 1.5dB/ターン である。零分散波長は $1.757\mu\text{m}$ であり、ケーブルカットオフ波長は $1.22\mu\text{m}$ である。また、波長 $1.38\mu\text{m}$ におけるOH基に因るロス増 $\Delta\alpha_{1.38}$ は 0.03dB/km である。

【0030】第4実施例の光ファイバの諸元は以下のとおりである。中心コア領域の外径 $2a$ は $5.0\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は $14.3\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は $21.6\mu\text{m}$ であり、内層クラッド領域の外径 $2d$ は $43.2\mu\text{m}$ である。また、中心コア領域の屈折率差 Δ_1 は 0.59% であり、第2コア領域の屈折率差 Δ_2 は -0.15% であり、第3コア領域の屈折率差 Δ_3 は 0.27% であり、内層クラッド領域の屈折率差 Δ_4 は -0.15% である。

【0031】そして、この第4実施例の光ファイバの諸特性は以下のとおりである。波長分散特性は、波長 $1.25\mu\text{m}$ で -16.40ps/nm/km であり、波長 $1.31\mu\text{m}$ で -14.30ps/nm/km であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ で -14.70ps/nm/km であり、波長 $1.65\mu\text{m}$ で -8.60ps/nm/km である。波長 $1.55\mu\text{m}$ において、波長分散スロープは $0.027\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であり、実効断面積は $49.3\mu\text{m}^2$ であり、モードフィールド径は $7.75\mu\text{m}$ であり、曲げ径 $32\text{mm}\Phi$ での曲げ損失は 0.8dB/ターン である。零分散波長は $1.724\mu\text{m}$ であり、ケーブルカットオフ波長は $1.33\mu\text{m}$ である。また、波長 $1.38\mu\text{m}$ におけるOH基に因るロス増 $\Delta\alpha_{1.38}$ は 0.03dB/km である。

【0032】以上説明した第1～第4実施例それぞれの光ファイバは、何れも、信号光波長帯域A（波長帯域 $1.30\mu\text{m}\sim 1.60\mu\text{m}$ ）の全範囲において、波長分散が -20ps/nm/km 以上 -3ps/nm/km

m以下であり、また、信号光波長帯域B（波長帯域1. 25 μm ～1. 65 μm ）の全範囲においても、波長分散が -20ps/nm/km 以上 -3ps/nm/km 以下である。また、第1～第4実施例それぞれの光ファイバは、何れも、波長1. 55 μm における実効断面積が40 μm^2 以上であり、波長1. 38 μm におけるOH基に因るロス増が0. 1 dB/km以下である。第1～第3実施例それぞれの光ファイバは、信号光波長帯域Aの全範囲において、波長分散が -12ps/nm/km 以上 -4ps/nm/km 以下である。また、第3実施例の光ファイバは、信号光波長帯域Bの全範囲において、波長分散が -16ps/nm/km 以上 -4ps/nm/km 以下である。

【0033】次に、本実施形態に係る光ファイバを光伝送路として用いた光伝送システムの第1の実施形態について説明する。図6は、第1の実施形態に係る光伝送システム1の概略構成図である。この光伝送システム1は、送信局110と受信局120との間に光ファイバ130が光伝送路として敷設されたものである。

【0034】送信局110は、N台（ $N \geq 2$ ）の送信器111₁～111_Nおよび合波器112を含む。送信器111_n（ただし、nは1以上N以下の任意の整数。以下同様。）は、信号光波長帯域A（または信号光波長帯域B）内の波長 λ_n の信号光を出力する。波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ のうち、何れかの波長は波長1. 31 μm 帯にあり、他の何れかの波長は波長1. 45 μm 帯にあり、更に他の何れかの波長は波長1. 55 μm 帯にあり、その他の波長は波長1. 58 μm 帯にある。合波器112は、送信器111₁～111_Nから送出された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光を入力して合波し、この合波した多波長の信号光を光ファイバ130へ送出する。

【0035】光ファイバ130は、送信局110の合波器112により合波されて送出された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光を受信局120まで伝送する。この光ファイバ130は、信号光波長帯域Aの全範囲において波長分散が -20ps/nm/km 以上 -3ps/nm/km 以下である。また、この光ファイバ130は、より好適には、信号光波長帯域Aの全範囲において波長分散が -12ps/nm/km 以上 -4ps/nm/km 以下であり、或いは、信号光波長帯域Bの全範囲において波長分散が -20ps/nm/km 以上 -3ps/nm/km 以下であり、更に好適には、信号光波長帯域Bの全範囲において波長分散が -16ps/nm/km 以上 -4ps/nm/km 以下である。また、この光ファイバ130は、より好適には、波長1. 55 μm における実効断面積が40 μm^2 以上であり、波長1. 38 μm におけるOH基に因るロス増が0. 1 dB/km以下である。

【0036】受信局120は、N台の受信器121₁～121_Nおよび分波器122を含む。分波器122は、光ファイバ130を伝送してきて到達した波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$

の信号光を入力して分波し、この分波した各波長の信号光を出力する。受信器121_nは、分波器122から出力された波長 λ_n の信号光を受信する。

【0037】この光伝送システム1では、送信局110において送信器111₁～111_Nから出力され合波器112により合波された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光は、光ファイバ130を伝送されて受信局120に到達する。受信局120において、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光は、分波器122により分波され、受信器121₁～121_Nにより受信される。この光伝送システム1は、送信局110と受信局120との間の光伝送路として、上述した本実施形態に係る光ファイバ130を用いていることから、波長1. 31 μm 帯、波長1. 45 μm 帯、波長1. 55 μm 帯および波長1. 58 μm 帯を含む信号光波長帯域A（または信号光波長帯域B）の全範囲において、非線型光学現象に因る信号光の波形劣化および累積波長分散に因る信号光の波形劣化の双方が抑制される。したがって、この光伝送システム1は、この広い信号光波長帯域A（または信号光波長帯域B）の多波長の信号光 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ を用いて大容量の長距離伝送が可能である。

【0038】次に、本実施形態に係る光ファイバを光伝送路として用いた光伝送システムの第2の実施形態について説明する。図7は、第2の実施形態に係る光伝送システム2の概略構成図である。この光伝送システム2は、送信局210と中継局240との間に光ファイバ231が光伝送路として敷設され、また、中継局240と受信局220との間に光ファイバ232が光伝送路として敷設されたものである。

【0039】送信局210は、N台の送信器211₁～211_N、合波器212₁、212₂、光増幅器213₁、213₂、および、合波器214を含む。送信器211_nは、信号光波長帯域A（または信号光波長帯域B）内の波長 λ_n の信号光を出力する。波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ のうち、何れかの波長は波長1. 31 μm 帯にあり、他の何れかの波長は波長1. 45 μm 帯にあり、更に他の何れかの波長は波長1. 55 μm 帯にあり、その他の波長は波長1. 58 μm 帯にある。合波器212₁は、送信器211₁～211_Mから送出された第1の波長帯域に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光を入力して合波して、光増幅器213₁は、この合波した波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光を一括光増幅して出力する（ただし、 $1 < M < N$ ）。合波器212₂は、送信器211_{M+1}～211_Nから送出された第2の波長帯域に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光を入力して合波して、光増幅器213₂は、この合波した波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光を一括光増幅して出力する。合波器214は、光増幅器213₁により光増幅されて出力された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光、および、光増幅器213₂により光増幅されて出力された波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光を入力して合波し、この合波した多波長の信号光を光ファイバ231へ送出する。

【0040】光ファイバ231は、送信局210の合波器214により合波されて送出された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光を中継局240まで伝送する。この光ファイバ231は、信号光波長帯域Aの全範囲において波長分散が -20 ps/nm/km 以上 -3 ps/nm/km 以下である。また、この光ファイバ231は、より好適には、信号光波長帯域Aの全範囲において波長分散が -12 ps/nm/km 以上 -4 ps/nm/km 以下であり、或いは、信号光波長帯域Bの全範囲において波長分散が -20 ps/nm/km 以上 -3 ps/nm/km 以下であり、更に好適には、信号光波長帯域Bの全範囲において波長分散が -16 ps/nm/km 以上 -4 ps/nm/km 以下である。また、この光ファイバ231は、より好適には、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積が $40 \mu\text{m}^2$ 以上であり、波長 $1.38 \mu\text{m}$ におけるOH基に因るロス増が 0.1 dB/km 以下である。

【0041】中継局240は、分波器241、光増幅器242、242および合波器243を含む。分波器241は、光ファイバ231を伝送してきて到達した波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光を入力して、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ を含む第1の波長帯域と、波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ を含む第2の波長帯域とに分波する。光増幅器242は、分波器241から出力された第1の波長帯域に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光を一括光増幅し、光増幅器242は、分波器241から出力された第2の波長帯域に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光を一括光増幅する。そして、合波器243は、光増幅器242により光増幅されて出力された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光、および、光増幅器242により光増幅されて出力された波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光を入力して合波し、この合波した多波長の信号光を光ファイバ232へ送出する。

【0042】光ファイバ232は、中継局240の合波器243により合波されて送出された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光を受信局220まで伝送する。この光ファイバ232は、信号光波長帯域Aの全範囲において波長分散が -20 ps/nm/km 以上 -3 ps/nm/km 以下である。また、この光ファイバ232は、より好適には、信号光波長帯域Aの全範囲において波長分散が -12 ps/nm/km 以上 -4 ps/nm/km 以下であり、或いは、信号光波長帯域Bの全範囲において波長分散が -20 ps/nm/km 以上 -3 ps/nm/km 以下であり、更に好適には、信号光波長帯域Bの全範囲において波長分散が -16 ps/nm/km 以上 -4 ps/nm/km 以下である。また、この光ファイバ232は、より好適には、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積が $40 \mu\text{m}^2$ 以上であり、波長 $1.38 \mu\text{m}$ におけるOH基に因るロス増が 0.1 dB/km 以下である。

【0043】受信局220は、N台の受信器221 \sim 221N、分波器222、222、光増幅器223、223、および、分波器224を含む。分波器224

は、光ファイバ232を伝送してきて到達した波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光を入力して、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ を含む第1の波長帯域と、波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ を含む第2の波長帯域とに分波する。光増幅器223は、分波器224から出力された第1の波長帯域に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光を一括光増幅し、分波器222は、この光増幅された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光を波長毎に分波して出力する。光増幅器223は、分波器224から出力された第2の波長帯域に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光を一括光増幅し、分波器222は、この光増幅された波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光を波長毎に分波して出力する。受信器221Nは、分波器222または222から出力された波長 λ_N の信号光を受信する。

【0044】この光伝送システム2では、送信局210において、送信器211 \sim 211Mから出力された第1の波長帯域の波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光は、合波器212により合波され、光増幅器213により一括光増幅される。また、送信器211M+1 \sim 211Nから出力された第2波長帯域の波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光は、合波器212により合波され、光増幅器213により一括光増幅される。そして、光増幅器213により光増幅されて出力された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光、および、光増幅器213により光増幅されて出力された波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光は、合波器214により更に合波されて、光ファイバ231に送出される。送信局210から送出された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光は、光ファイバ231を伝送されて中継局240に到達する。

【0045】中継局240においては、光ファイバ231を伝送してきて到達した波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光は、分波器241により第1の波長帯域と第2の波長帯域とに分波される。第1の波長帯域に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光は、光増幅器242により一括光増幅され、第2の波長帯域に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光は、光増幅器242により一括光増幅されて、これらは、合波器243により合波されて、光ファイバ232に送出される。中継局240から送出された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光は、光ファイバ232を伝送されて受信局220に到達する。

【0046】受信局220においては、光ファイバ232を伝送してきて到達した波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光は、分波器224により第1の波長帯域と第2の波長帯域とに分波される。第1の波長帯域に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光は、光増幅器223により一括光増幅され、分波器222により波長毎に分波される。第2の波長帯域に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光は、光増幅器223により一括光増幅され、分波器222により波長毎に分波される。そして、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の信号光は、受信器221 \sim 221Nにより受信される。

【0047】この光伝送システム2は、送信局210と中継局240との間の光伝送路、および、中継局240

と受信局220との間の光伝送路として、上述した本実施形態に係る光ファイバ231、232を用いていることから、波長1.31 μm 帯、波長1.45 μm 帯、波長1.55 μm 帯および波長1.58 μm 帯を含む信号光波長帯域A（または信号光波長帯域B）の全範囲において、非線型光学現象に因る信号光の波形劣化および累積波長分散に因る信号光の波形劣化の双方が抑制される。したがって、この光伝送システム2は、この広い信号光波長帯域A（または信号光波長帯域B）の多波長の信号光 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ を用いて大容量の長距離伝送が可能である。

【0048】また、この光伝送システム2では、第1の波長帯域に含まれる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_M$ の信号光を光増幅器2131、2421および2231により一括光増幅し、また、第2の波長帯域に含まれる波長 $\lambda_{M+1} \sim \lambda_N$ の信号光を光増幅器2132、2422および2232により一括光増幅するので、この点でも長距離伝送が可能である。例えば、第1の波長帯域は波長1.55 μm 帯および波長1.58 μm 帯を含み、この第1の波長帯域内の信号光を一括光増幅する光増幅器として、Er元素が光導波領域に添加された光ファイバ増幅器（EDFA: Erbium-Doped Fiber Amplifier）が好適に用いられる。一方、第2の波長帯域は波長1.31 μm 帯および波長1.45 μm 帯を含み、この第2の波長帯域内の信号光を一括光増幅する光増幅器として、半導体光増幅器やラマン増幅器が好適に用いられる。

【0049】なお、図7に示した構成では、信号光を2つの波長帯域に分けて各々光増幅器により光増幅することとしたが、全体を1つの光増幅器により光増幅してもよいし、また、3以上の波長帯域に分けて各々光増幅器により光増幅するのも好適である。例えば、波長1.31 μm 帯、波長1.45 μm 帯、波長1.55 μm 帯および波長1.58 μm 帯の4つの波長帯域に分けてもよい。そして、波長1.31 μm 帯の信号光の光増幅には、Pr元素が光導波領域に添加された光ファイバを増幅媒体として用いたPr元素添加光ファイバ増幅器（PDFA: Praseodymium-Doped Fiber Amplifier）が好適に用いられる。波長1.45 μm 帯の信号光の光増幅には、Tm元素が光導波領域に添加された光ファイバを増幅媒体として用いたTm元素添加光ファイバ増幅器（TDFA: Thulium-Doped Fiber Amplifier）が好適に用いられる。波長1.55 μm 帯の信号光の光増幅にはEDFAが好適に用いられる。波長1.58 μm 帯の信号光の光増幅にもEDFAが好適に用いられる。また、何れの波長帯域の信号光の光増幅にも、半導体光増幅器やラマン増幅器が好適に用いられる。

【0050】

【発明の効果】以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る光ファイバは、波長帯域1.30 $\mu\text{m} \sim 1.60 \mu$

mの全範囲において、波長分散が -20ps/nm/km 以上 -3ps/nm/km 以下（より好適には、 -12ps/nm/km 以上 -4ps/nm/km 以下）である。また、より好適には、上記の波長帯域より広い波長帯域1.25 $\mu\text{m} \sim 1.65 \mu\text{m}$ の全範囲において、波長分散が -20ps/nm/km 以上 -3ps/nm/km 以下（より好適には、 -16ps/nm/km 以上 -4ps/nm/km 以下）である。この光ファイバによれば、波長1.31 μm 帯、波長1.45 μm 帯、波長1.55 μm 帯および波長1.58 μm 帯を含む広い信号光波長帯域において、波長分散が上記数値範囲内の値であるので、非線型光学現象に因る信号光の波形劣化および累積波長分散に因る信号光の波形劣化の双方が抑制される。したがって、この光ファイバを光伝送路として用いれば、この広い信号光波長帯域の多波長の信号光を用いて大容量の長距離伝送が可能である。

【0051】本発明に係る光ファイバは、波長1.55 μm における実効断面積が40 μm^2 以上である場合には、非線型光学現象に因る信号光の波形劣化が更に抑制され、長距離伝送を行う上で好適である。また、本発明に係る光ファイバは、波長1.38 μm におけるOH基に因るロス増が0.1dB/km以下である場合には、波長1.38 μm 付近の波長をも信号光波長として用いることができるので、更に大容量の伝送が可能である。

【0052】本発明に係る光伝送システムは、上記の本発明に係る光ファイバを光伝送路として用いているので、波長1.31 μm 帯、波長1.45 μm 帯、波長1.55 μm 帯および波長1.58 μm 帯を含む広い信号光波長帯域（1.30 $\mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$ 、より好適には1.25 $\mu\text{m} \sim 1.65 \mu\text{m}$ ）において、非線型光学現象に因る信号光の波形劣化および累積波長分散に因る信号光の波形劣化の双方が抑制され、この広い信号光波長帯域の多波長の信号光を用いて大容量の長距離伝送が可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本実施形態に係る光ファイバの波長分散特性を説明する図である。

【図2】本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの好適例を説明する図である。

【図3】本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの他の好適例を説明する図である。

【図4】4つの実施例の光ファイバそれぞれの諸元および諸特性を纏めた図表である。

【図5】4つの実施例の光ファイバそれぞれの波長分散特性を示すグラフである。

【図6】第1の実施形態に係る光伝送システムの概略構成図である。

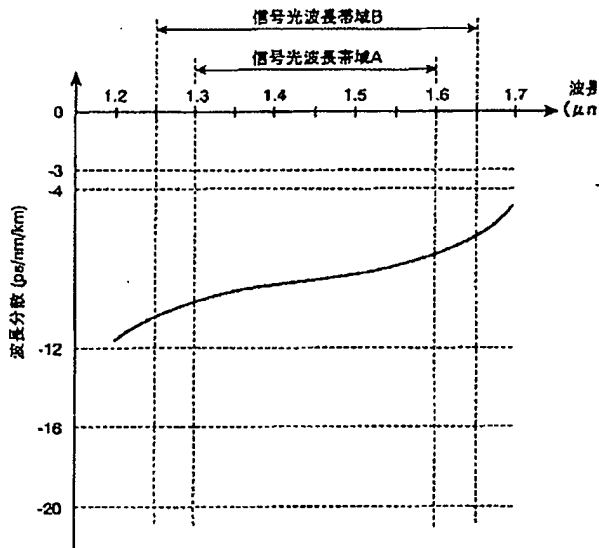
【図7】第2の実施形態に係る光伝送システムの概略構成図である。

【符号の説明】

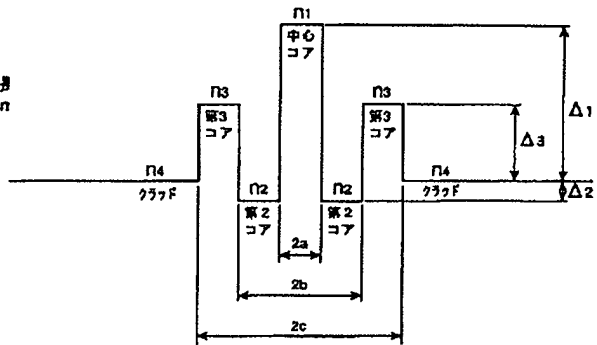
1, 2…光伝送システム、110…送信局、1111~111N…送信器、112…合波器、120…受信局、1211~121N…受信器、122…分波器、130…光ファイバ、210…送信局、2111~211N…送信器、2121, 2122…合波器、2131, 2132…光

増幅器、214…合波器、220…受信局、2211~221N…受信器、2221, 2222…分波器、2231, 2232…光増幅器、224…分波器、231, 232…光ファイバ、240…中継局、241…分波器、2421, 2422…光増幅器、243…合波器。

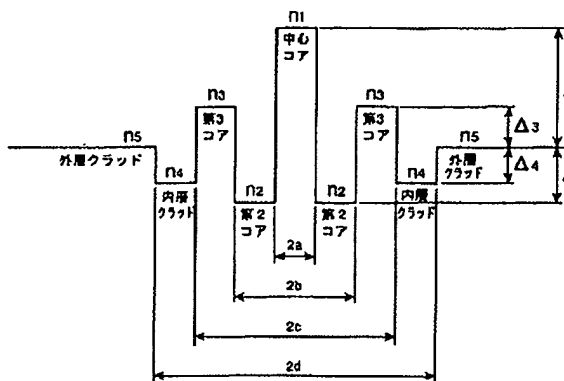
【図1】



【図2】



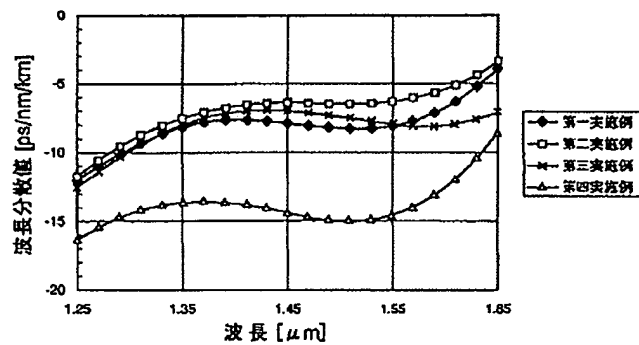
【図3】



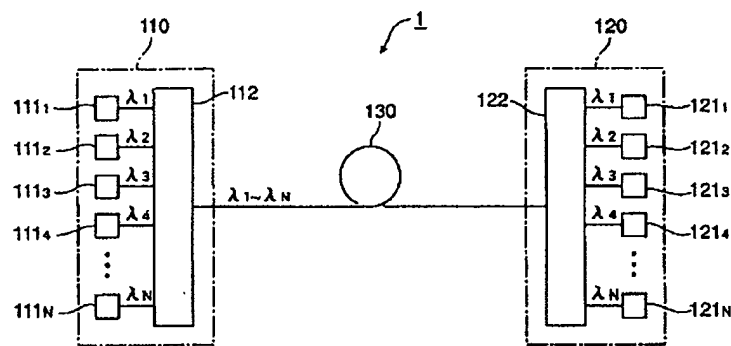
【図4】

		第1 実施例	第2 実施例	第3 実施例	第4 実施例
中心コアの外径 2a	(μm)	5.7	5.5	5.2	5.0
第2コアの外径 2b	(μm)	14.7	14.5	15.1	14.3
第3コアの外径 2c	(μm)	22.6	21.3	21.6	21.6
内層クラッドの外径 2d	(μm)	46.2	42.6	43.2	43.2
中心コアの比屈折率差 Δ1	(%)	0.50	0.55	0.57	0.59
第2コアの比屈折率差 Δ2	(%)	-0.20	-0.20	-0.20	-0.15
第3コアの比屈折率差 Δ3	(%)	0.25	0.30	0.29	0.27
内層クラッドの比屈折率差 Δ4	(%)	-0.20	-0.20	-0.20	-0.15
波長分散	(ps/nm/km) @ 1.26 μm	-11.98	-11.82	-12.69	-16.40
	@ 1.31 μm	-9.22	-8.81	-9.42	-14.30
	@ 1.55 μm	-8.07	-6.28	-7.99	-14.70
	@ 1.66 μm	-3.81	-3.32	-7.10	-8.60
波長分散スロープ	(ps/nm ² /km) @ 1.55 μm	0.016	0.011	-0.008	0.027
有効断面積	(μm ²) @ 1.55 μm	52.1	46.6	42.1	49.3
モードフィールド径	(μm) @ 1.55 μm	7.95	7.44	7.15	7.75
3.2mmφ曲げ損失	(dB/7°) @ 1.55 μm	2.4	0.2	1.5	0.8
零分散波長	(μm)	1.694	1.700	1.757	1.724
ケーブルカットオフ波長	(μm)	1.29	1.31	1.22	1.33
Δα _{1,2,3}	(dB/km)	0.01	0.08	0.03	0.03

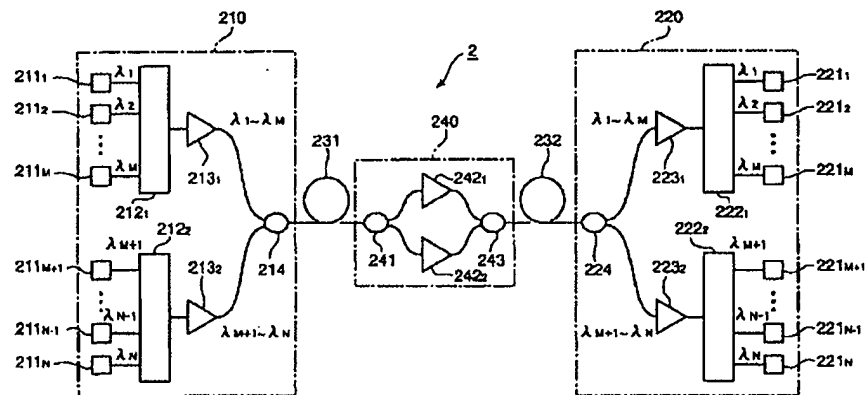
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H050 AC14 AC15 AC28 AC71 AC73
AC76
5K002 AA01 AA03 AA06 BA04 BA05
CA01 DA02 FA02